

PAT-NO: JP407202326A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07202326 A

TITLE: OPTICAL PULSE GENERATING ELEMENT

PUBN-DATE: August 4, 1995

INVENTOR- INFORMATION:

NAME  
WAKITA, KOICHI

ASSIGNEE- INFORMATION:

NAME COUNTRY  
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> N/A

APPL-NO: JP06000377

APPL-DATE: January 7, 1994

INT-CL (IPC): H01S003/18

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide an optical pulse generating element having high speed and variable repetitive frequency as a light source for optical communication and optical measurement for generating and controlling short optical pulses.

CONSTITUTION: An optical pulse generating element has a semiconductor laser part 12, an intensity modulator part 13 for modulating intensity of emitted light of the semiconductor laser part 12 formed on the same substrate as a semiconductor laser, and an optical phase modulator part 14 formed on the same substrate as the semiconductor laser part 12 for controlling a phase of light whose intensity has been modulated by the intensity modulator part 13 and also driven independently from the light intensity modulator part 13. These three elements are optically coupled with one another while a resonator is constituted of an end face of the light intensity modulator opposite to a side of the semiconductor laser and an end face of the phase modulator opposite to a side of the semiconductor laser, the intensity modulator is operated with large amplitude to generate an optical pulse string, and repetitive frequency of the optical pulses is controlled by the optical phase modulator.

DERWENT-ACC-NO: 1995-306097

DERWENT-WEEK: 199540

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Light pulse generation element for optical communication and instrumentation system - has optical phase modulator which controls frequency of light pulse from semiconductor laser

PATENT-ASSIGNEE: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE CORP[NITE]

PRIORITY-DATA: 1994JP-0000377 (January 7, 1994)

PATENT-FAMILY:

| PUB-NO        | PUB-DATE       | LANGUAGE | PAGES | MAIN-IPC    |
|---------------|----------------|----------|-------|-------------|
| JP 07202326 A | August 4, 1995 | N/A      | 008   | H01S 003/18 |

APPLICATION-DATA:

| PUB-NO       | APPL-DESCRIPTOR | APPL-NO        | APPL-DATE       |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|
| JP 07202326A | N/A             | 1994JP-0000377 | January 7, 1994 |

INT-CL (IPC): H01S003/18

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 07202326A

BASIC-ABSTRACT:

The light pulse generation element has an intensity modulator (11) which modulates the intensity of optical radiation from a MQW semiconductor laser (12). The intensity modulation is formed on the same substrate of the laser. To control the intensity modulation, the intensity modulator and an optical phase modulator part (14) are driven independently. The above three parts are coupled optically and mutually.)

An optical cavity is formed with its one side end face at the intensity modulator and its other side is placed opposite to the side of the phase modulator. This cavity modulates the intensity of the laser beam with large amplitude. The frequency of the light pulse signal is controlled by the optical phase modulator.

ADVANTAGE - Obtains high speed frequency variable and short light pulse.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/7

TITLE-TERMS: LIGHT PULSE GENERATE ELEMENT OPTICAL COMMUNICATE  
INSTRUMENT SYSTEM

OPTICAL PHASE MODULATE CONTROL FREQUENCY LIGHT PULSE  
SEMICONDUCTOR  
LASER

ADDL-INDEXING-TERMS:

MULTIPLE QUANTUM WELL

DERWENT-CLASS: U12 V08

EPI-CODES: U12-A01B1; V08-A04A;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1995-232243

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 許出願公開番号

特開平7-202326

(43)公開日 平成7年(1995)8月4日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 01 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全8頁)

(21)出願番号 特願平6-377

(22)出願日 平成6年(1994)1月7日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 藤田 紘一

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

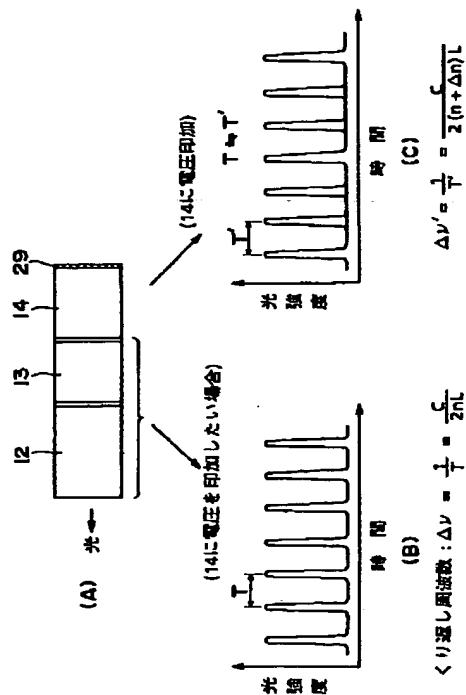
(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外1名)

(54)【発明の名称】 光パルス発生素子

(57)【要約】

【目的】 光通信及び光計測における光源として高速でかつ可変できる繰り返し周波数を有し、短光パルスを発生し、制御する光パルス発生素子を提供する。

【構成】 半導体レーザ部12と、該半導体レーザ部12と同一基板上に形成された前記半導体レーザ部12の出射光を強度変調する強度変調器部13と、前記半導体レーザ部12と同一基板上に形成され前記強度変調器部13により強度変調された光の位相を制御すると共に前記光強度変調器部13と独立に駆動された光位相変調器部14とを有し、これら三素子は互いに光学的に結合され、かつ、前記半導体レーザの光強度変調器側と反対側の片端面とを前記位相変調器の半導体レーザ側と反対の片端面からなる光共振器を構成し、前記強度変調器を大振幅動作させて光パルス列を発生し、その光パルスの繰り返し周波数を前記光位相変調器で制御する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザと、該半導体レーザと同一基板上に形成された前記半導体レーザの出射光を強度変調する強度変調器と、前記半導体レーザと同一基板上に形成され前記強度変調器により強度変調された光の位相を制御すると共に前記光強度変調器と独立に駆動された光変調器とを有し、これら三素子は互いに光学的に結合され、かつ、前記半導体レーザの光強度変調器側と反対側の片端面とを前記位相変調器の半導体レーザ側と反対の片端面からなる光共振器を構成し、前記強度変調器を大振幅動作させて光パルス列を発生し、その光パルスの繰り返し周波数を前記光位相変調器で制御することを特徴とする光パルス発生素子。

【請求項2】 請求項1の光パルス発生素子において、前記半導体レーザ、光強度変調器、光位相変調器を構成する光導波路が多重量子井戸構造からなることを特徴とする光パルス発生素子。

【請求項3】 請求項1の光パルス発生素子において、前記光共振器を構成する反射面の内、光位相変調器側の端面を高反射面として半導体レーザの端面から光を取り出す構成とすることを特徴とする光パルス発生素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信及び光計測における光源として高速でかつ可変できる繰り返し周波数を有し、短光パルスを発生し、制御する光パルス発生素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体レーザは小形、直接変調可能という特徴を持ち、超短光パルス発生に用いられてきた。その方法は大別すると(1)Qスイッチング法、(2)利得スイッチング法、(3)モード同期法の3種類である。

【0003】 このうち、Qスイッチング法は素子製作が容易でない、動作制御が容易でないなどの問題点があり、利得スイッチング法は方式が簡便で繰り返し周波数が可変という特徴はあるものの、狭くて高い繰り返し周波数の電流パルスを必要とし、また、半導体レーザ自体も高速に動作する必要があり、発生する光パルスも半導体レーザ固有のチャーブ特性のため、パルスの幅とそのスペクトル幅の積がフーリエ変換によって規定される値より数倍大きくなってしまうという欠点があった(通常、チャーブ量は線幅拡大係数 $\alpha$ で表され、この積は理想的な場合の値に比べ $\alpha$ を用いて $(1 + \alpha^2)^{1/2}$ 倍だけ大きくなる)。

【0004】 一方、モード同期法は理論限界に近いパルス幅は得られているが、複雑な外部共振器構成が必要であり、また、繰り返し周波数はこの外部共振器構成によって規定され、その共振周波数の整数倍しか得ることができない。

【0005】 最近、以上述べた3つの方法とは別に、

(4) 電界吸収型の外部変調器を用いた高速短光パルス発生の方法、が報告されている(文献: M.Suzuki等、CL EO'92PostDeadline Paper、CPD26, 56-57 ページ、1992年参照)。

【0006】 図7はその原理を示すもので、電界吸収型のバルク形の変調器は外部より電界を印加されると図のように吸収係数が変化し、これを透過する光の強度を変調でき、その変化は印加電圧に対して非線形であるので、外部から連続光を照射し(例えば半導体レーザを直流で動かし)、変調器に正弦波信号を乗せれば信号の半波長より狭い光のパルスが発生できる。この方法は比較的入手しやすい正弦波電圧を用いて繰り返し周波数を自由に設定でき、しかもフーリエ変換制限に近い狭線幅かつ狭スペクトル幅の光パルスが得られるという利点がある。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、この時発生する光パルスの幅は上記外部変調器を透過する光強度の電圧依存性及び外部変調器の帯域で制限され、帯域は高々 20 GHz 程度であり(上記文献では 8-10 GHz)、駆動電圧も低くなく、また、変調器と光ファイバとの結合損の大きいことに起因して光の強度も弱いという問題がある。

【0008】 また、この欠点を克服するため上記半導体レーザと光強度変調器とをモノリシックに集積化して結合損を減らす試みがあるが(例えば IEEE Journal Quant um Electronics 29巻, H.Tanaka他, 1993年参照)、それでもまだ光の強度が弱いという問題がある。

【0009】 本発明は以上のような従来の方法に存在する問題、とくに上記(3)の方法の問題を解決するために考案されたもので、より高い繰り返し周波数で動作し制御の容易な(繰り返し周波数の可変な)、かつ、簡便にして時間幅のみならず、スペクトル幅もより狭い、より高出力の光パルス列を発生させる光パルス発生素子を提供することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】 前記目的を達成する本発明に係る光パルス発生素子の構成は、半導体レーザと、該半導体レーザと同一基板上に形成された前記半導体レーザの出射光を強度変調する強度変調器と、前記半導体レーザと同一基板上に形成され前記強度変調器により強度変調された光の位相を制御すると共に前記光強度変調器と独立に駆動された光変調器とを有し、これら三素子は互いに光学的に結合され、かつ、前記半導体レーザの光強度変調器側と反対側の片端面とを前記位相変調器の半導体レーザ側と反対の片端面からなる光共振器を構成し、前記強度変調器を大振幅動作させて光パルス列を発生し、その光パルスの繰り返し周波数を前記光位相変調器で制御する、ことを特徴とする。

【0011】また上記構成において、前記半導体レーザ、光強度変調器、光位相変調器を構成する光導波路が多重量子井戸構造からなることを特徴とする。

【0012】さらに、上記構成において、前記光共振器を構成する反射面の内、光位相変調器側の端面を高反射面として半導体レーザの端面から光を取り出す構成とすることを特徴とする。

【0013】すなわち、半導体レーザ特有の小型、堅 固性を維持しつつ、本発明者等の提案している多重量子井戸構造を用いた超高速（超広帯域）・低駆動電圧光強度変調器・光位相変調器を用いることにより、レーザそのものには影響を与えないで強度変調器自体の持っている低チャーブ性を利用して、制御の容易な高い繰り返し周波数で簡便に幅の狭い、かつ、高出力の光パルス列を発生し、これを同一基板上に設けられた強度変調器とは別の信号で駆動する光位相変調器により繰り返し周波数を制御するものである。

【0014】光源と光強度変調器、光強度変調器と光位相変調器との結合には個別の素子であれば、その間に光\*

$$(\omega L_1 n_1 / C) + (\omega L_2 n_2 / C) = m\pi \quad (m \text{は整数}) \cdots (1)$$

ここでCは光速である。

【0016】このとき、屈折率 $n_2$ の変化 $\delta n_2$ に対する※

$$\delta\omega = -\{m\pi CL_2 / (L_1 n_1 + L_2 n_2)^2\} \cdot \delta n_2 \cdots (2)$$

【0017】一方、位相変調器に $\pi$ 駆動電圧を印加した際の屈折率変化 $\delta n_2$ は「数3」となる。★

$$\omega L_2 \delta n_2 / C = \pi \cdots (3)$$

これより、

$$\delta n_2 = \pi C / \omega L_2 \cdots (4)$$

となる。☆4」となる。

【0018】上記の式(1)、式(2)、式(4)より、発振角周波数と発振周波数の変化はそれぞれ「数☆

$$\delta\omega = -\pi C / (L_1 n_1 + L_2 n_2) \cdots (5)$$

$$\delta f = -C/2 \cdot (L_1 n_1 + L_2 n_2) \cdots (6)$$

【0019】今、半導体レーザ及び光強度変調器の合せた長さを $1840\mu\text{m}$ 、光位相変調器の長さを $300\mu\text{m}$

mとし、かつ、 $n_1 = n_2 = 3.5$ とすれば、「数5」と◆

$$\delta f = -3 \times 10^8 / 2 \times 2140 \times 10^{-6} \times 3.5 = -2.0 \times 10^{10} \text{ GHz} \cdots (7)$$

【0020】すなわち、光の周波数にして $20\text{GHz}$ の変化が可能となる。これは $0.01\%$ の変化に相当する。こ\*

$$\Delta\phi = 2\pi L \cdot \Delta n / \lambda_0 = \pi \cdots (8)$$

より $\Delta n = 2.7 \times 10^{-3}$ 、 $\Delta n / n = 0.076\%$

【0021】これは共振周波数に換算して $15\text{MHz}$ に相当する。通常、光位相変調器は $\pi$ の数倍の変化が期待できるので、 $10\text{MHz}$ の周波数変化が可能となる。

【0022】一方、発生する光は光強度変調器部13の電圧に対する透過特性の非線形性、広帯域性を反映して幅数psecの狭い光パルスであり、繰り返し周波数の固定した光パルス列であるが、同一基板上に半導体光位相変調器を設け、これに加える電圧を通して光導波路の屈折

\* ファイバを介するため必ず結合損が発生し、光の強度を落とす。また、ファイバとの結合にはモジュールを必要とし、作製工程が増え、信頼性にも問題が出てくる。これを解決するため図1に示すように、光強度変調器部13、光位相変調器部14と半導体レーザ部12とをモノリシックに集積する。また、半導体レーザ端面と光位相変調器の端面とで光共振器を構成し、この光共振器に固有のモードを発生させて、そのモード間隔に相当する周波数をもつ大振幅の正弦波を光強度変調器部13に加える（モード同期と呼ばれる）。

【0015】このとき、光位相変調器の半導体レーザとは反対側の端面と、半導体レーザの光を放出する側の端面とで光共振器を形成しておく。光位相変調器の方の反射面は高反射（ほぼ100%）にしてある。この際、半導体レーザと光強度変調器を合わせた長さおよびその平均の屈折率をそれぞれ $L_1, n_1$ 、光位相変調器部の長さ、屈折率をそれぞれ $L_2, n_2$ とすると、半導体レーザの発振条件は、「数1」に示す式(1)となる。

【数1】

※る発振角周波数の変化 $\delta\omega$ は「数2」となる。

【数2】

$$\delta\omega = -\{m\pi CL_2 / (L_1 n_1 + L_2 n_2)^2\} \cdot \delta n_2 \cdots (2)$$

★【数3】

★

☆4」となる。

【数4】

☆5」となる。

【数5】

◆なる。

【数6】

◆なる。

【数7】

◆なる。

【数8】

◆なる。

【数9】

◆なる。

【数10】

◆なる。

【数11】

◆なる。

【数12】

◆なる。

【数13】

◆なる。

【数14】

◆なる。

【数15】

◆なる。

【数16】

◆なる。

【数17】

◆なる。

【数18】

◆なる。

【数19】

◆なる。

【数20】

◆なる。

【数21】

◆なる。

【数22】

◆なる。

【数23】

◆なる。

【数24】

◆なる。

【数25】

◆なる。

【数26】

◆なる。

【数27】

◆なる。

【数28】

◆なる。

【数29】

◆なる。

【数30】

◆なる。

【数31】

◆なる。

【数32】

◆なる。

【数33】

◆なる。

【数34】

◆なる。

【数35】

◆なる。

【数36】

◆なる。

【数37】

◆なる。

【数38】

◆なる。

【数39】

◆なる。

【数40】

◆なる。

【数41】

◆なる。

【数42】

◆なる。

【数43】

◆なる。

【数44】

◆なる。

【数45】

◆なる。

【数46】

◆なる。

【数47】

◆なる。

【数48】

◆なる。

【数49】

◆なる。

【数50】

◆なる。

【数51】

◆なる。

【数52】

◆なる。

【数53】

◆なる。

【数54】

◆なる。

【数55】

◆なる。

【数56】

◆なる。

【数57】

◆なる。

【数58】

◆なる。

【数59】

◆なる。

【数60】

◆なる。

【数61】

◆なる。

【数62】

◆なる。

【数63】

◆なる。

【数64】

◆なる。

【数65】

◆なる。

【数66】

◆なる。

【数67】

◆なる。

【数68】

◆なる。

【数69】

◆なる。

【数70】

◆なる。

【数71】

◆なる。

【数72】

◆なる。

【数73】

◆なる。

【数74】

◆なる。

【数75】

◆なる。

【数76】

◆なる。

【数77】

◆なる。

【数78】

◆なる。

【数79】

◆なる。

【数80】

◆なる。

【数81】

◆なる。

【数82】

◆なる。

【数83】

◆なる。

【数84】

◆なる。

【数85】

◆なる。

【数86】

◆なる。

◆なる。

【数87】

◆なる。

【数88】

◆なる。

【数89】

◆なる。

【数90】

◆なる。

【数91】

◆なる。

【数92】

◆なる。

【数93】

◆なる。

【数94】

◆なる。

【数95】

◆なる。

【数96】

◆なる。

【数97】

◆なる。

【数98】

◆なる。

【数99】

◆なる。

【数100】

◆なる。

【数101】

◆なる。

【数102】

◆なる。

【数103】

◆なる。

【数104】

◆なる。

【数105】

◆なる。

【数106】

◆なる。

【数107】

◆なる。

【数108】

◆なる。

【数109】

◆なる。

【数110】

◆なる。

【数111】

◆なる。

【数112】

るので吸収の生じない範囲で屈折率変化は大きな動作条件を選ぶ。

【0024】

【作用】半導体レーザそのものをQスイッチングや利得スイッチング法によって狭い光パルスの発生に利用しても、そのチャーブ特性に起因してそのパルス幅とスペクトル線幅との積は大きい（通常、チャーブ量は線幅拡大係数 $\alpha$ で表され、半導体レーザでは $\alpha$ は2-6であり、パルス幅とスペクトル線幅との積は理想的な値にくらべ $\alpha$ を用いて $(1 + \alpha^2)^{1/2}$ 倍だけ大きくなる）が、線幅拡大係数 $\alpha$ の小さい（0.2-1.0）の外部変調器を用いるので理論限界に近い狭い線幅でかつスペクトル幅の狭い光パルスが得られる。多重量子井戸構造を用いたものでは3dB帯域4GHzという最高性能の変調器が報告されており（文献：小高他、電子情報通信学会論文誌C-1,J74-C-1巻、No.11,414-420ページ、1991年、11月参照）、その広帯域性は実証済である。帯域が広ければ、変調周波数をその分高くでき、光パルスの幅を狭くできる。また、光強度変調器は大振幅動作で駆動する必要があるが、多重量子井戸構造の光強度変調器では駆動電圧も小さくて済み、高周波数の信号源の負担が軽くなる。

【0025】さらに図4に示すように、多重量子井戸構造では変調電圧に対して消光比は非線形に変化し、その変化の程度は上記のバルク形の変調器に比べ大きく、その結果、正弦波電圧の印加によりCW光の照射下でも狭い光パルスの発生が可能となるが、光強度そのものを強くすることはできない。レーザ共振器の内部に強度変調器を挿入すれば、外部からの電圧で共振器内部の損失を変え、レーザ光の走行周期に合わせてシャープな光ゲートを開閉するので開きのタイミングにのみ鋭く光パルスが成長する。

【0026】また、半導体レーザとのモノリシック集積化も可能であり、上記（4）の方法の問題であった光源と変調器とを光ファイバを介して結合したことで増加する損失を減らせられる。また、上記の方法で発生された光パルス列は、印加電圧で屈折率の変えられる位相変調器をモノリシックに集積してあるため、望ましい繰り返し周波数で外部に取り出せるという効果がある。

【0027】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の一つの実施態様に従う素子構造を詳細に説明する。

【0028】図1は本発明の実施例に従うMQWレーザとMQW光強度変調器、MQW光位相変調器の集積化光源の概略断面図を示すものである。図2は図1の素子構造の結合部の拡大図である。図3は図2のII-II線に沿う拡大断面図である。図2、図3において、10は光パルス発生素子、11は光導波路、12は半導体レーザ部、13は光強度変調器部、14は光位相変調器部、15は第1の半導体部分、16は第2の半導体部分、17は光結合領域、18は界面、20は基板、22はエッチ

ングストップ層、24は第1の下クラッド層、26は活性層（第1の多重量子井戸構造）、26Aはウェル層、26Bはバリア層、28はガイド層、30は第1の上クラッド層、31は保護層、32は第2の下クラッド層、34は第2の多重量子井戸構造、34Aはウェル層、34Bはバリア層、36は第2の上クラッド層、38は第3のクラッド層、38Aは肉薄部、38B、38Cはクラッド層の部分、40は分離部、42はキャップ層、44、46、47は埋込み部、48はレーザ部の電極、49は光強度変調器部の電極、50は光位相変調器部の電極を各々図示する。

【0029】図2、3に示すように、本実施例の光パルス発生素子10は光導波路11を基板20上に設けたものである。この光導波路11は半導体レーザ部12とこれに結合された光強度変調器部13、光位相変調器部14とから構成されている。半導体レーザ部12は、第1の半導体部分15を含み、光強度変調器部13は第2の半導体部分16を、光位相変調器部14は第2の半導体部分16を含む。基板20上にはエッチングストップ層22を介して上述した第1および第2の半導体部分15、16を設ける。この第1の半導体部分15は第1の下クラッド層24、活性層26（第1の多重量子井戸構造）、ガイド層28、第1の上クラッド層30を有し、この順に積層してある。第1の上下クラッド層30、24は導電型が異なるようにドープしてあり、活性層26はガイド層28を挟んでいる。活性層26は、ウェル層26A、バリア層26Bからなる第1の多重量子井戸構造を構成している。光位相変調器部14は第2の半導体部分16からなっており、強度変調器部と同じ構成で量子井戸の厚さがやや薄く吸収端波長が短波長になっているほか、印加電圧が互いに独立にくわえられるようになっている。

【0030】一方、光強度変調器部13に含まれる第2の半導体部分16は第2の下クラッド層32、光導波路としての第2の多重量子井戸構造34、第2の上クラッド層36を有し、この順に積層してある。第2の上下クラッド層36、32は第1の上下クラッド層30、24と同様に、導電型が異なるようにドープしてあり、第2の多重量子井戸構造34を挟んでいる。この第2の多重量子井戸構造34は第1の多重量子井戸構造26と同様に、ウェル層34Aおよびバリア層34Bからなる。半導体レーザ部12は、光変調器部13の下クラッド層32を介して相互に対向する光結合領域17において光学的に結合されている。

【0031】第1および第2の半導体部分15、16の上には連続する第3のクラッド層38を設け、この第3のクラッド層38は第1および第2の半導体部分15、16の界面18を挟む対向端部15A、16Aを含む領域に沿って上部が欠損した分離部40を有する。すなわち、界面18をまたぐ肉薄部38Aでレーザ部12と光

強度変調器部13、光位相変調器部14に存在する第3のクラッド層38の部分38B、38Cを一体に連絡している。光導波路11はレーザ部12、光強度変調器部13、光位相変調器部14を貫くリッジ構造を有しております。レーザ部12と光強度変調器部13、光位相変調器部14の各両側はそれぞれ埋込み部44、46、47がキャップ層42と同じ高さに設けられている。キャップ層42および埋込み層44、46、47の上にレーザ部の電極48、強度変調器部13の電極49、位相変調器部14の電極50がそれぞれ設けられている。レーザ部12と強度変調器部13、位相変調器部14とは分離部40により絶縁性が向上されている。

【0032】上述したMQWレーザは、次のようにして製造できる。すなわち、予め分子線エピタキシー法(MBE)あるいは有機金属気相成長法(MOVPE)により基板上に作製されたレーザ部(または位相変調器部、強度変調器部)を選択的にドライおよびウェットエッチング法により基板までエッチングし、その後、強度変調器部、位相変調器部(またはレーザ部)をMBE法を用いて成長する。この時レーザ発光部の基板表面から測った高さは強度変調器部、位相変調器部光導波路部分の基板表面から測った高さに合うようにする。強度変調器部と位相変調部は独立に電圧を印加できるようにし、かつ、選択成長法や、混晶化技術等を用いて量子井戸の吸収端波長を強度変調器のそれより短波長にする。

【0033】以下、図面を参照して本発明の具体例を説明する。図1および図2に示す素子構造を下記の通り製作した。すなわち、n-InP基板20の表面にMOVPE法によりn-InGaAsP層をエッチングストップ層22として設け、その上にn-InPクラッド層24を0.1μm、次いで10nmのInGaAsをウェル層(井戸層)26Aとし波長1.3μm相当のInGaAsP 10nmをバリア層(障壁層)26Bとする量子井戸構造6層からなる活性層26、波長1.3μm相当のInGaAsPガイド層を0.1μm成長した。その上にp-InPクラッド層30を成長した後、SiO<sub>2</sub>膜をスパッタ装置により形成し、これにフォトリソグラフィー技術により所望の部分に穴を開ける。すなわち、パターン化したフォトレジストとの2層マスクを使用してリソグラフィーを行う。

【0034】次に、これをマスクとして光強度変調器13、光位相変調部14をMBE法またはMOVPE法により成長する。このとき選択マスクを用いて選択成長し、光強度変調器13はn-InAlAsクラッド層32を0.3μm、厚さ7.5nmのInGaAsウェル層34A、5nmのInAlAsバリア層34Bからなる量子井戸構造30層を、光位相変調器14は厚さ6.5nmのInGaAsウェル層となるよう成長して光導波路34を形成し、その上にp-InAlAsクラッド層36を形成する。クラッド層36の上にはp-InGaAs保護層31を形成する。レーザ部11の上に成長した部分(層32、34、36、31)はSiO<sub>2</sub>膜をサイド

からエッチングすることにより取り除き、最後にp-InPクラッド層38、p-InGaAsキャップ層42をMOVPE法により形成する。

【0035】次に、幅1.5-3.0μmのストライプを用いて、上述した活性層26、光導波層34までエッチングを行い、レーザ部と強度変調器部、位相変調器部を貫くリッジを形成する。この後、レーザ部をInP層(p-InPとn-InPの組み合わせまたは半絶縁性InPからなる)44で、強度変調器部、位相変調器部をポリイミド46、47でそれぞれ埋め込み、最後に各々の部分には電極48、50、49をつける。この電極48、49、50をマスクとしてエッチングを施し、各電極間に分離部40を形成し、強度変調器部とレーザ部、位相変調器部の間の絶縁を強化する。レーザ部、位相変調器部と強度変調器部および各部との間の絶縁部の長さは1790μm、1000μm、300μm、50μmとした。光位相変調器部のレーザ側と反対の端面には高反射コーティング(図示しない)を施し、出射端面は半導体レーザ側とした。また、基板の下面にはn形電極62(図2に図示)をつける。

【0036】図4は本発明を適用したMQWレーザとMQW光強度変調器、MQW光位相変調器の集積化光源による光パルス発生素子の特性を示すものである。半值全幅1ピコ秒程度のパルス幅が20GHzの繰り返し周波数で得られており、実際に第二高調波による自己相関の測定によれば半值全幅は光パルスの波形をローレンツ形と仮定して1.4ピコ秒であった。また、光出力も数10mWあり、この種の光パルスとして十分な値である。MQW光位相変調器に直流電圧を加えると繰り返し周波数が変化し、所期の目的を達成できた。このとき強度変調器に加えるRF信号の周波数は繰り返し周波数の変化に応じ変えねばならない。光は変調器内に戻るため通常の進行波形に比べ試料長さは半分で同一の特性が得られるで、高消光比や広帯域が達成された。

【0037】以上、光パルス発生素子について光パルス発生部を構成する半導体レーザ及びレーザ部と変調器部の結合形態を半導体レーザ及びバットジョイントと呼ばれる構造を用いて説明したが、光パルス発生部を構成する半導体レーザをLOCと呼ばれる構造(図6参照)でも同様な特性が得られる。図6に示す素子は、レーザ部12にはレーザ活性層26と強度変調器、位相変調器の光導波層34のコアが2層あり、強度変調器部13、位相変調器部14には組成の異なる1層しかなく、レーザより発光された光が強度変調器、位相変調器に導波される構造となっている。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る光パルス発生素子は、半導体レーザと強度変調器とからなる従来の構成に、位相変調器を加えたことにより、複雑な外部共振器構成を用いなくても、モード同期法により光

パルスを発生することができる。よって、本発明によれば、MQWレーザとMQW光強度変調器、MQW光位相変調器が結合効率よく集積化された光源を作製でき、また、MQWレーザとMQW光変調器、MQW位相変調器の各々の性能を最適化できるため、1ピコ秒以下の狭線幅で高繰り返し周波数、高出力の光パルスを容易に発生できる。また、MQW光位相変調器に加える電圧を制御して、繰り返し周波数を数10MHzにわたって変えることができる。以上の本発明の内容は、電流注入による屈折率変化を用いたものについても適用することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したMQWレーザとMQW光強度変調器、MQW光位相変調器の集積化光源による光パルス発生素子の要部の概略構成を示す模式的上面図である。

【図2】本発明を適用したMQWレーザとMQW光強度変調器、MQW光位相変調器の集積化光源による光パルス発生素子の構造の概略構成を示す斜視図である。

【図3】図2のMQWレーザとMQW強度変調部、MQW光位相変調部の接合界面のII-II線に沿う拡大断面図である。

【図4】本発明の動作原理の一部を説明するための図で、MQW光強度変調器を正弦波電圧で大振幅動作したときの、透過光強度の狭まりを示す。

【図5】本発明を適用した場合の光パルス発生素子の光位相変調部の動作原理を示す図である。

【図6】本発明を適用した場合の光パルス発生素子の他の実施例を示す図である。

【図7】従来のパルス発生に用いられたバルク形強度変調器の動作原理を説明するための図で、光強度変調器を正弦波電圧で大振幅動作したときの、透過光強度の狭まりを示す。

## 【符号の説明】

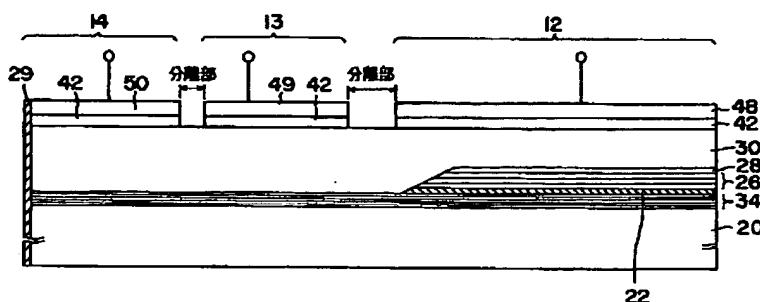
10 光パルス発生素子

11 光導波路

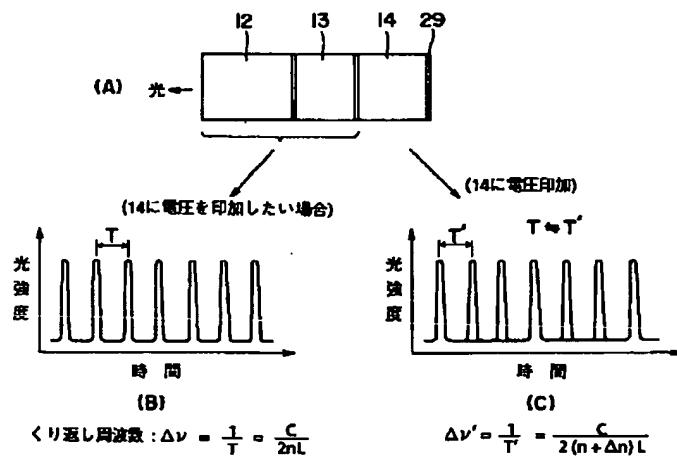
12 半導体レーザ部

|            |                    |
|------------|--------------------|
| 13         | 光強度変調器部            |
| 14         | 光位相変調器部            |
| 15         | 第1の半導体部分           |
| 15A        | 対向端部               |
| 16         | 第2の半導体部分           |
| 16A        | 対向端部               |
| 17         | 光結合領域              |
| 18         | 界面(斜めエッチング面)       |
| 20         | 基板                 |
| 22         | エッチングストップ層         |
| 24         | 第1の下クラッド層          |
| 26         | 活性層(第1の多重量子井戸構造)   |
| 26A        | ウェル層               |
| 26B        | バリア層               |
| 28         | ガイド層               |
| 29         | 高反射膜               |
| 30         | 第1の上クラッド層          |
| 31         | 保護層                |
| 32         | 第2の下クラッド層          |
| 34         | 第2の多重量子井戸構造        |
| 34A        | ウェル層               |
| 34B        | バリア層               |
| 36         | 第2の上クラッド層          |
| 38         | 第3のクラッド層           |
| 38A        | 肉薄部                |
| 38B, 38C   | クラッド層の部分           |
| 40         | 分離部                |
| 42         | キャップ層              |
| 44, 46, 47 | 埋込み部               |
| 48         | レーザ部の電極            |
| 49         | 強度変調器部の電極          |
| 50         | 位相変調器部の電極          |
| 52         | SiO <sub>2</sub> 膜 |
| 54         | パターン化レジスト          |
| 56         | ひさし                |
| 58, 59, 60 | p型電極               |
| 62         | n型電極               |

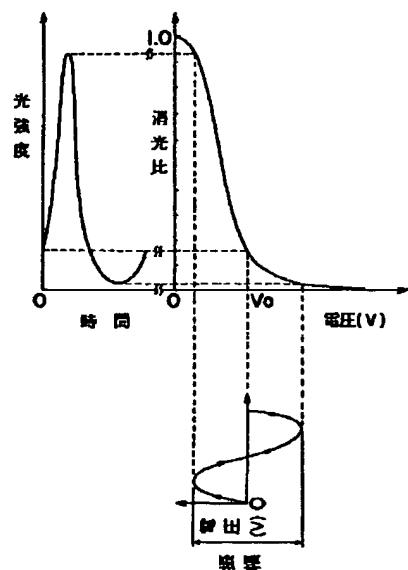
【図6】



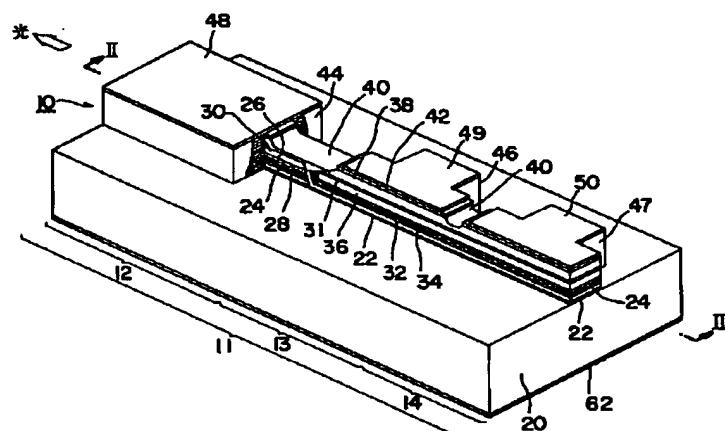
【図1】



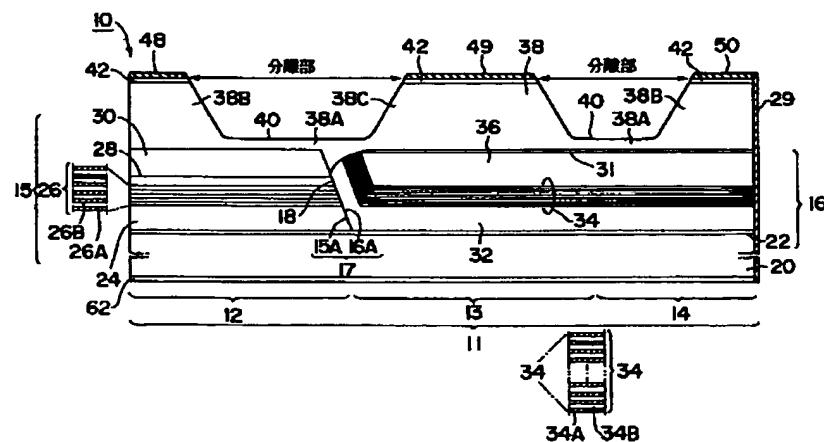
〔図4〕



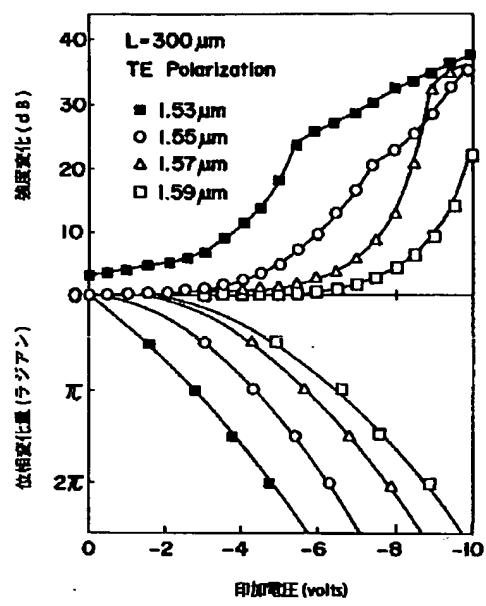
【図2】



〔図3〕



【図5】



【図7】

